

## ХАРАКТЕРИСТИКА СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ, ЧАСТОТИ ТА АМПЛІТУДИ ПІКІВ АКУСТИЧНОГО СИГНАЛУ НАД ЛЕГЕНЯМИ У ДІТЕЙ З ПОЗАЛІКАРНЯНОЮ ПНЕВМОНІЄЮ ЗА ДОПОМОГОЮ НОВОГО ПРИЛАДУ «TREMBITA-CORONA»

Марушко Ю.В. <https://orcid.org/0000-0001-8066-9369>

Хомич О.В. <https://orcid.org/0000-0001-9272-7159>

Національний медичний університет імені О.О.Богомольця, Київ, Україна

khomychov@gmail.com

**Актуальність.** Позалікарняна пневмонія (ПП) є актуальною проблемою сьогодення та вагомою причиною захворюваності і смертності у дітей. Діагностика пневмонії складна і потребує комплексного дослідження. Наразі перспективним методом діагностики є респіраторна акустика.

**Ціль:** дослідити особливості середніх значень потужності, частот та амплітуд піків акустичного сигналу над легеньми у дітей з позалікарняною пневмонією за допомогою нового приладу акустичної діагностики «Trembita-Corona».

**Матеріали і методи.** Було досліджено 120 дітей віком від 1 місяця до 18 років, що проходили лікування в педіатричних відділеннях ДКЛ №5 та ДКЛ №7. Дітей було розділено на дві групи: I група – 60 пацієнтів з ПП, II група – 60 здорових дітей. У дітей з I групи були проведені комплексні дослідження, що потребувала ПП. Також всім дітям було проведено дослідження на пристрої акустичного моніторингу «Trembita-Corona» для діагностики дихальних шумів та локалізації зон ураження легень. Дослідження було проведено відповідно до міжнародних принципів проведення клінічних досліджень GCP, GLP, протокол затверджено на засіданні Комісії з питань біоетичної експертизи при НМУ імені О.О. Богомольця ( протокол № 138 від 10 листопада 2020 року). На проведення дослідження було отримано інформовану згоду батьків/опікунів, що була затверджена на засіданні Комісії з питань біоетичної експертизи при НМУ імені О.О. Богомольця ( протокол № 138 від 10 листопада 2020 року). Математична обробка проводилася на розробленому спеціалізованому програмному забезпеченні мовою Python у середовищі Google Codelabs. Подальшу статистичну обробку отриманих результатів проводили в спеціалізованих програмах Medstart, EZR (R-Statistics) та «Matlab».

**Результати та їх обговорення.** У дітей клінічна картина ПП складалася з легеневих (респіраторних) скарг, симптомів інтоксикації, ДН, локальних фізикальних змін. Всім пацієнтам за допомогою пристрою «Trembita-Corona» і відповідного оригінального програмного забезпечення були досліджені дихальні шуми легень в діапазоні частот від 0.1 Гц до 30 кГц. Найбільш перспективними є дослідження дихальних шумів в діапазонах 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 октав. Також були виявлені достовірні відмінності по середній потужності сигналу між дітьми з ПП та здоровими дітьми в 0,1,2,3,4,5,6 октавах. За допомогою пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» були виявлені достовірні відмінності по частоті піків між дітьми з ПП та здоровими дітьми в 0 та 5 октавах та достовірні відмінності по амплітуді піків між дітьми з ПП та здоровими дітьми в 0,1,2,3,4,5,6 октавах. Тому застосування пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» та застосування розробленого спеціалізованого програмного забезпечення мовою Python у середовищі Google Codelabs разом дають можливість почути специфічні акустичні сигнали по всій поверхні легень у дітей з позалікарняною пневмонією.

**Висновки.** Пристрій акустичного моніторингу «Trembita-Corona» є новим і перспективним акустичним методом для визначення місця розташування патологічного процесу в легень. Виявлені достовірні відмінності: по середній потужності сигналу між дітьми з ПП та здоровими дітьми в 0,1,2,3,4,5,6 октавах; по частоті піків між дітьми з ПП та здоровими дітьми в 0 та 5 октавах; по амплітуді піків між дітьми з ПП та здоровими дітьми в 0,1,2,3,4,5,6 октавах.

**Ключові слова:** діти; позалікарняна пневмонія; діагностика; пристрій акустичного моніторингу «Trembita-Corona».

**Актуальність.** Позалікарняна пневмонія (ПП) є актуальною проблемою сьогодення та вагомою причиною захворюваності і смертності у дітей [1-4]. Для своєчасної постановки діагнозу та призначення відповідного лікування велике значення має рання діагностика [5-7]. Останніми роками в світі і в Україні проводиться оновлення міжнародних рекомендацій для покращення і пришвидшення діагностики ПП [8-11]. В Україні діагностика ПП проводиться згідно нового наказу №1380 МОЗ України від 02.08.2022 р. Згідно з цим наказом діагноз ПП встановлюється на підставі збору анамнезу, клінічних даних, а також застосування результатів інструментальних та лабораторних методів дослідження [8]. Згідно з клінічною настановою 2022 року «Пневмонії у дітей» діагноз позалікарняної пневмонії ставиться клінічно без застосування всім дітям рентгенологічного дослідження [9]. Тому саме непроменеві методи діагностики мають практичну цінність і актуальність [10-13]. Для діагностики ПП наразі перспективним є метод респіраторної акустики. Основними завданнями респіраторної акустики є розробка теорії розповсюдження і генерації звуку в легенях та створення об'єктивних акустичних методів, що в свою чергу покращать діагностику ПП у дітей [10,12-14].

Метод аускультції дихальної системи є найдавнішим неінвазивним методом діагностики патологічних процесів в легенях. Основоположником аускультції вважають Гіппократа [15-17]. В1816 році Рене Теофілем Гіаком Ланнеком було винайдено перший стетоскоп. Спочатку Ланнек використовував згорнутий паперовий конус, а пізніше дерев'яну трубку, про що писав в роботі «Трактат про хвороби грудної клітки». Сучасний стетоскоп зазнав кілька модифікацій, перш ніж набув звичної для нас форми.

У дитячій пульмонології використовують метод пульмофонографії [18,19]. Недоліками цього методу є те, що реєстрація дихальних шумів відбувається в певних точках над легенями та за допомогою цього методу можливо проаналізувати тільки один тип шуму. Тому цей метод не дає можливість точно локалізувати патологічний процес в легенях.

У пульмонології використовується метод комп'ютерної фоноспірографії, завдяки якому можлива візуалізація додаткових шумів над легенями. Проте одним з недоліків цього методу є те, що, розшифровка і трактовка результатів проводиться лікарем, що суб'єктивно впливає на результат [20,21].

Нами та провідними спеціалістами НАУ розроблений пристрій акустичного моніторингу «TrembitaCorona» для діагностики дихальних шумів над легенями. Даний пристрій пришвидшує діагностику захворювання, допомагає локалізувати зони ураження легень та провести акустичний моніторинг легень. Однією з особливостей даного пристрою є те, що діагностику можна проводити дистанційно, що є дуже актуальним при діагностиці пневмонії, що викликана вірусом SARS-CoV-2. Одним з основних переваг цього методу є виключення суб'єктивної оцінки лікарем дихальних шумів, тому що даний метод передбачає автоматизовану систему контролю та оцінки дихальних шумів з повним виключення людського фактору (Патент на корисну модель №148836 Пристрій акустичного спостереження із осьюовою діаграмою направленості) [10,13].

Отже створення повністю автоматизованої системи контролю та оцінки дихальних шумів є актуальним завданням.

**Ціль:** дослідити особливості середніх значень потужності, частот та амплітуд піків акустичного сигналу над легенями у дітей з позалікарняною пневмонією за допомогою нового приладу акустичної діагностики «TrembitaCorona».

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Було обстежено 120 дітей (56 хлопчиків, 64 дівчинки) віком від 1 місяця до 18 років, що проходили лікування в педіатричних відділеннях ДКЛ №5 та ДКЛ №7 м. Києва.

Дітей було розділено на дві групи: I група – 60 пацієнтів з позалікарняною пневмонією ( $9,6 \pm 0,3$  роки); II група – 60 здорових дітей ( $12,1 \pm 0,5$  роки). В 1 групі було 35 хлопчиків (58,33%) та 21 дівчаток (35%), в 2 групі був 21 хлопчик (35%) та 39 (65%) дівчаток.

Критеріями включення пацієнтів до I групи були:

- вік пацієнтів від 1 місяця до 18 років;
- підтверджена позалікарняна пневмонія (анамнестичними, клініко-лабораторними і рентгенологічними даними);
- інформована згода батьків чи опікунів дитини.

Критеріями виключення пацієнтів із I групи були:

- вроджені пневмонії, ендокринні захворювання, генетичні синдроми;
- вроджені вади розвитку серця та органічні захворювання головного мозку.

У дітей з I групи були проведені комплексні дослідження, що потребувала позалікарняна пневмонія, а саме:

- об'єктивне обстеження (перкусія, пальпація, аускультация);
- рентгенографія легень;
- лабораторні дослідження (загальний аналіз крові, біохімічний аналіз крові).

Дослідження було проведено відповідно до міжнародних принципів проведення клінічних досліджень GCP, GLP, протокол затверджено на засіданні Комісії з питань біоетичної експертизи при НМУ імені О.О. Богомольця (протокол № 138 від 10 листопада 2020 року). Також було отримано інформовану згоду батьків/опікунів, що була затверджена на засіданні Комісії з питань біоетичної експертизи при

НМУ імені О.О. Богомольця (протокол № 138 від 10 листопада 2020 року).

Також всім дітям було проведено дослідження на пристрої акустичного моніторингу «Trembita-Corona» для діагностики дихальних шумів та локалізації зон ураження легень [10-13].

Методика проведення обстеження пацієнта за допомогою пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» має певну послідовність [10-13]. Спершу пацієнту та батькам/опікунам розповідають про процедуру та отримують письмову згоду на проведення. Спочатку обстеження проводиться звичайним фонендоскопом, а потім пристроєм акустичного моніторингу «Trembita-Corona». За допомогою пристрою проводиться вислуховування передньої поверхні грудної клітки, потім задньої, а далі вже бічних поверхонь грудної клітки. Надалі проводиться аналіз акустичних характеристик зареєстрованих сигналів, виділення характерних частотних діапазонів та математична обробка параметрів сигналу за допомогою розробленого спеціалізованого програмного забезпечення мовою Python у середовищі Google Codelabs. Подальші статистичні розрахунки проводились в спеціалізованих програмах Medstart та EZR (R-Statistics). Загальний вигляд приладу показаний на Рис.1.

Сутність запропонованого методу контролю полягає в записі та аналізі акустичних ко-



Рис. 1. Зразок пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona»

ливань за допомогою двох приймачів у кожній з досліджуваних точок акустичного аналізу. Наступним етапом є математична обробка та аналіз природи і характерних особливостей акустичного сигналу. Також за допомогою акустичної триангуляції сигналу проводиться розрахунок напрямку і положення джерела, що викликає ці коливання. Завдяки цьому ми можемо точно визначити місце розташування ураження у легенях. Таким чином, з'являється можливість у реальному масштабі часу скласти загальну характеристику стану легень з можливістю локалізації зон уражень, у тому числі, і у зареберних зонах. Прилад має автоматизовану систему контролю та оцінки дихальних шумів з повним виключення людського фактору і з можливістю математичної обробки даних з розробленим спеціалізованим програмним забезпеченням мовою Python у середовищі Google Codelabs.

За допомогою пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» проводиться аналіз звуків на різних октавах, причому за октаву вважався інтервал, у якому співвідношення частот між звуками становить один до двох, тобто частота високого звуку є вдвічі вищою [3,4,5,10,11,13]. Суб'єктивно на слух октава сприймається як стійкий, базовий акустичний інтервал. Послідовні октави складають звуки, що подібні один до одного, хоча відрізняються по висоті. За базову частоту приймалася частота рівна 1000 Гц.

У таблиці 1 представлені мінімальні ( $f_1$ ) і максимальні ( $f_2$ ) значення граничних частот в

перших 11 октавах акустичного сигналу (АС) у Гц.

Також були досліджені такі частотні характеристики дихання, як частота піків та амплітуда піків акустичного сигналу (А.С.) в кожній з октав та третьоктав.

Частота акустичного сигналу характеризує кількість звукових коливань за одиницю часу та вимірюється об'єктивно, одиницею вимірювання є Герц (Гц). Частота, таким чином, показує кількість коливань заданої довжини хвилі в секунду. Довжина хвилі - це відстань від максимуму одного коливання до максимуму наступного. Довжина хвилі залежить від швидкості розповсюдження звукових коливань у певному середовищі, через яке ці хвилі проходять, що в свою чергу залежить від температури, тиску, густини, однорідності та інших параметрів середовища. Довжина хвилі обернено пропорційна частоті, тому за інших однакових умов короткохвильовим процесам відповідають вищі частоти реєстрованого сигналу [20,21].

Висота звуку - це суб'єктивне сприйняття частоти звуку. Людське вухо може сприймати звукові хвилі в діапазоні частот від 20 до 20000 Гц.

Амплітуда акустичних коливань пов'язана з енергією звукових хвиль і визначається модулем максимального відхилення параметру середовища, зміни якого власне носять хвильовий характер, наприклад, тиску, від середнього значення.

Математичної обробка проводилася на розробленому спеціалізованому програмному за-

Таблиця 1

**Мінімальні ( $f_1$ ) і максимальні ( $f_2$ ) значення граничних частот в перших 11 октавах АС у Гц**

| Октава | 0        | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $f_1$  | 0,1      | 11,22018 | 22,38721 | 44,66836 | 89,12509 | 177,8279 |
| $f_2$  | 11,22018 | 22,38721 | 44,66836 | 89,12509 | 177,8279 | 354,8134 |
| Октава | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       |
| $f_1$  | 354,8134 | 707,9458 | 1412,538 | 2818,383 | 5623,413 | 11220,18 |
| $f_2$  | 707,9458 | 1412,538 | 2818,383 | 5623,413 | 11220,18 | 30000    |

де:  $f_1$  – мінімальні граничні частоти та  $f_2$  - максимальні граничні частоти смуги.

безпеченні мовою Python у середовищі Google Codelabs. Подальшу статистичну обробку отриманих результатів проводили в спеціалізованих програмах Medstart, EZR (R-Statistics) та «Matlab». Порівняння центральних тенденцій для двох незалежних вибірок проводилося за W-критерієм Вілкоксона. При дослідженні середніх значень потужності сигналу в окремих октавах дітей з ПП було поділено на підгрупи. Групи були перевірені на нормальність розподілу. При наявності хоча б однієї групи, для якої показано, що розподіл не є нормальним, множинні порівняння проводилися з використанням рангового критерію Крускала-Уолліса та апостеріорного критерію Дана, як непараметричного методу порівняння трьох і більше груп. Однофакторний дисперсійний аналіз та критерій Шеффе використовувалися при проведенні множинних порівнянь для нормальних вибірок.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

При поступленні пацієнтів першої групи до стаціонару, діти та їх батьки/опікуни пред'являли типові скарги. Основними скаргами були: підвищення температури тіла у 54 (90%) дітей та наявність інтоксикаційного синдрому у 56 (93,33%) дітей, який проявлявся млявістю, головним болем та болем у м'язах, зниженням апетиту. У 57 (95%) дітей спостерігалася ринорея. У всіх дітей були скарги на кашель та 51

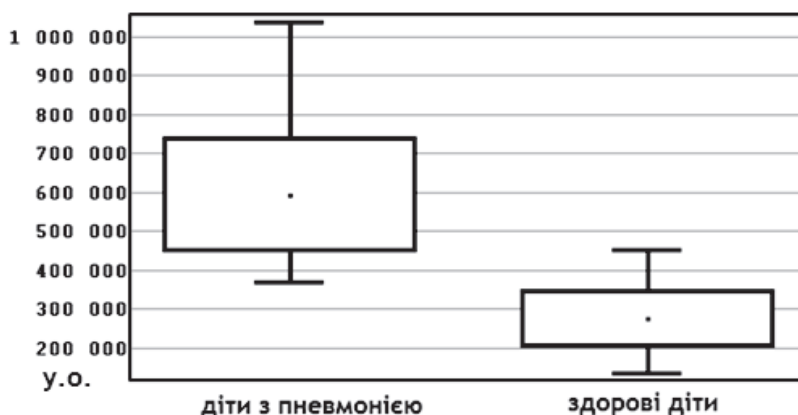
(85%) дитина мала гіперемію задньої стінки глотки. Аускультативна картина хворих на початку лікування характеризувалася жорстким або ослабленим диханням або ослабленим, у переважній більшості хворих вологими дрібно та середньо-пухирцевими хрипами. Діагноз ПП підтверджено рентгенологічним методом.

Усім дітям для діагностики дихальних шумів було проведено дослідження на пристрої акустичного моніторингу «Trembita-Corona». Була створена комп'ютеризована база даних акустичних сигналів моніторингу стану легень, яка включала більше 1200 записів, кожен з яких був оцифрований і оброблений згідно з вищезазначеними методиками обробки акустичних сигналів.

Статистична обробка матеріалів акустичного моніторингу обох груп дітей, внесених у вище зазначену створену базу даних акустичних сигналів, дозволила на першому етапі з вірогідністю більш ніж 97,5% підтвердити можливість діагностики пневмонії за допомогою запропонованого комп'ютеризованого акустичного методу по запропонованим алгоритмам аналізу за допомогою пристрою «Trembita-Corona».

Усім пацієнтам за допомогою пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» в 12 октавах А.С. були досліджені:

- середні значення потужності сигналу,
- частоти піків,
- амплітуди піків.



**Рис. 2.** Вірогідний інтервал при порівнянні центральних тенденцій для двох незалежних вибірок, а саме дітей з пневмонією та здорових дітей в 0 октаві АС ( $p < 0,001$ )

Було виявлено, що у дітей з ПП в 0 октаві А.С. середні значення потужності сигналу варіюють з 500.000 у.о. до 3.000.000 у.о. У здорових дітей в 0 октаві середні значення потужності сигналу є від 100.000 у.о. до 450.000 у.о. (Рис. 2) При порівнянні центральних тенденцій для двох незалежних вибірок була виявлена статистична відмінність ( $p < 0,001$ ).

При дослідженні середніх значень потужності сигналу в 0 октаві АС у дітей з ПП було поділено на 2 підгрупи:

- 1 підгрупа від 500.000 до 1.500.000
- 2 підгрупа від 1.500.000 – до 3.000.000

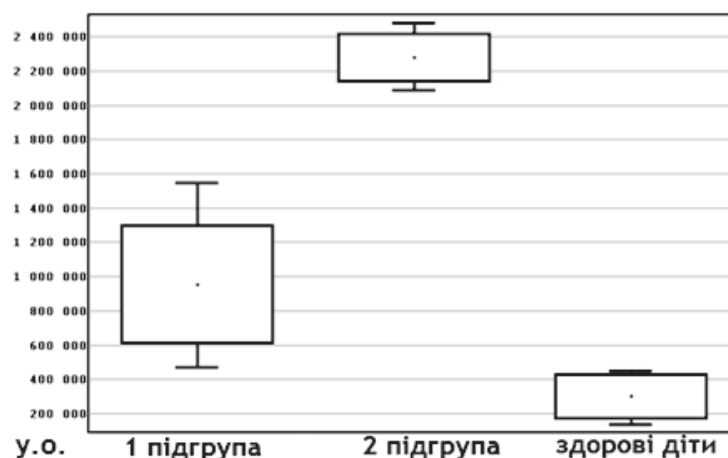
При проведенні множинних порівнянь за методом Шеффе між двома підгрупами та здоровими дітьми було виявлено, що відмінність середніх є статистично значимою при порівнянні дітей з пневмонією 1 підгрупи з дітьми з пневмонією 2 підгрупи ( $p < 0,01$ ). При порівнянні дітей 1 підгрупи зі здоровими була виявлена статистично значима відмінність ( $p < 0,01$ ) та у дітей з 2 підгрупи та здорових дітей відмінність середніх є також статистично значимою ( $p < 0,01$ ), що представлено на рис. 3.

При аналізі частоти піків в 0 октаві А.С., а саме порівнянні центральних тенденцій для двох незалежних вибірок за W-критерієм Вілкоксона було виявлено, що центральні тенденції відрізняються на рівні значимості  $p < 0,001$ , що представлено на рис. 4.

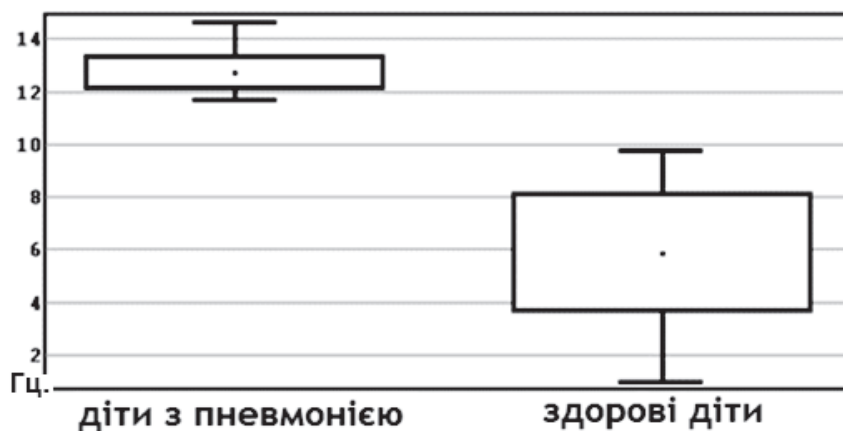
За допомогою пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» були дослідженні амплітуди піків в 0 октаві. При порівнянні центральних тенденцій для двох незалежних вибірок за W-критерієм Вілкоксона було виявлено, що центральні тенденції відрізняються на рівні значимості  $p=0,003$ , що представлено на рис. 5.

Як було показано вище, дітей з ПП було поділено на 2 підгрупи згідно з середніми значеннями потужності сигналу. В кожній з цих підгруп нами була досліджена амплітуда піків. Нами був проведений множинний порівняльний аналіз (ранговий однофакторний аналіз Крускала-Уолліса). Було виявлено, що відмінність не є статистично значимою при порівнянні дітей з пневмонією 1 підгрупи з дітьми з пневмонією 2 підгрупи ( $p>0,05$ ). При порівнянні середніх значень потужності сигналу у дітей з 1 підгрупи та здорових дітей, відмінність середніх є статистично значимою на рівні значимості  $p<0,05$ . Порівнюючи середні значення потужності сигналу у дітей з 2 підгрупи та здорових дітей, відмінність середніх є статистично значимою на рівні значимості  $p<0,01$ , що представлено на рис. 6.

При дослідженні середніх значень потужності сигналу в 1 октаві А.С. у дітей з ПП було виявлено, що середні значення потужності сигналу варіюють від 0 до 3.500.000 у.о. Було виділено 3 основні підгрупи:



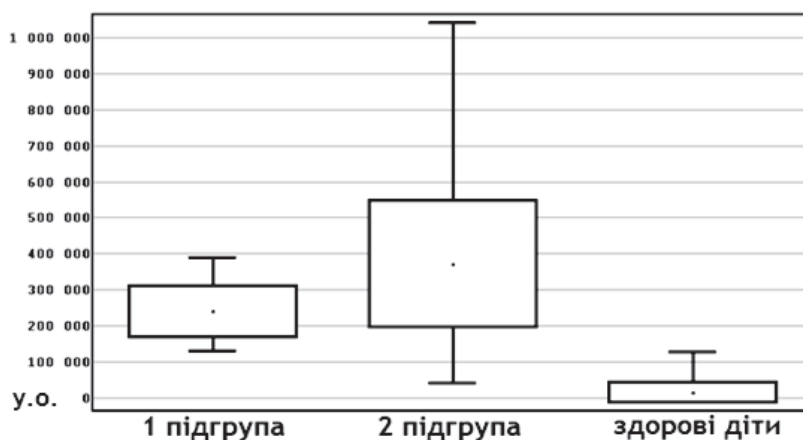
**Рис. 3.** Вірогідний інтервал при порівнянні середніх значень потужності сигналу у дітей з 1 підгрупи, 2 підгрупи та здорових дітей в 0 октаві



**Рис. 4.** Графік порівняння середніх двох незалежних вибірок у дітей з 1 групи ( діти з ПП) та 2 групи (здорових) в 0 октаві за W-критерієм Вілкоксона. (  $p < 0,001$ )



**Рис. 5.** Графік порівняння (амплітуд піків) середніх двох незалежних вибірок у дітей з 1 групи (діти з ПП) та 2 групи (здорових) в 0 октаві за W-критерієм Вілкоксона. (  $p=0,003$ )



**Рис. 6.** Вірогідний інтервал при порівнянні амплітуд піків у дітей з 1 підгрупи, 2 підгрупи та здорових дітей в 0 октаві

- 1 підгрупа від 0 до 800000 у.о.
- 2 підгрупа від 800000 у.о. до 1300000 у.о.
- 3 підгрупа від 1300000 у.о. до 3500000 у.о.

У здорових дітей в 1 октаві А.С. середні значення потужності сигналу коливаються від 800.000 у.о. – 1.300.000 у.о.

При проведенні множинних порівнянь (критерій Данна) для дослідження середніх значень потужності сигналу, для 4 вибірок (діти з ПП 1,2 та 3 підгруп та здорові діти) було виявлено, що:

- Відмінність між 1 підгрупою і 2 підгрупою є статистично значимою на рівні значимості  $p < 0,05$ .
- Відмінність між 1 підгрупою та 3 підгрупою є статистично значимою на рівні значимості  $p < 0,01$ .
- Відмінність між 1 підгрупою і здоровими дітьми не є статистично значимою,  $p > 0,05$ .
- Відмінність між 2 підгрупою та 3 підгрупою є статистично значимою на рівні значимості  $p < 0,05$ .
- Відмінність між 2 підгрупою і здоровими дітьми не є статистично значимою,  $p > 0,05$ .
- Відмінність між 3 підгрупою і здоровими дітьми є статистично значимою на рівні значимості  $p < 0,01$ .

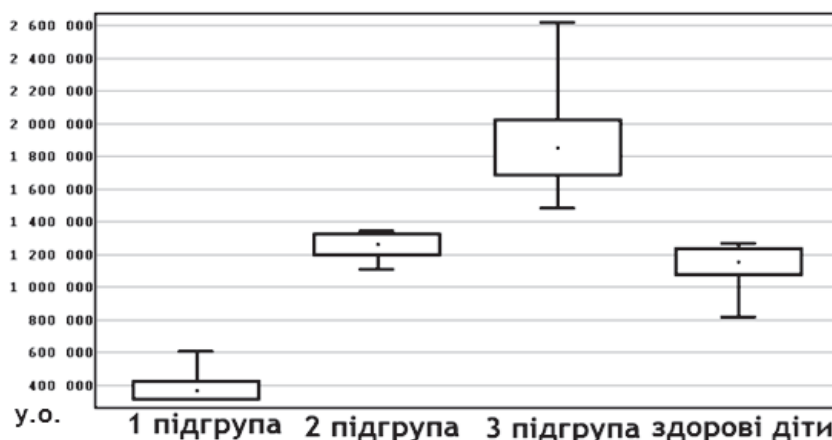
Виходячи з вище наведеного, можна зробити висновок, що існує статистично значима відмінність по середнім значенням потужності сигналу у дітей з пневмонією з 3 підгрупи (від

1300000 у.о. – 3500000 у.о.) та здорових дітей. На основі вище сказаного був зроблений висновок, що якщо виявлені відмінності середніх значень потужності сигналу в діапазоні менше 800.000 у.о. або більше 1.300.000 у.о., можна думати про пневмонію, проте якщо дані між 800.000 у.о. та 1.300.000 у.о., то треба перевірити потужності в інших октавах і тоді зробити висновок.

При аналізі частоти піків в 1 октаві А.С., а саме проведенні множинних порівнянь для 4 вибірок, а саме дітей з 1 підгрупи, 2 підгрупи, 3 підгрупи та здорових дітей, (ранговий однофакторний аналіз Крускала-Уолліса) було виявлено, що відмінність не є статистично значимою,  $p = 0,817$ .

За допомогою пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» були дослідженні амплітуди піків в 1 октаві А.С. При проведенні множинних порівнянь (критерій Данна) були виявлені відмінності між амплітудами піків у дітей з пневмонією 1 і 2 підгрупи ( $p < 0,05$ ), дітей з пневмонією 1 підгрупи та здорових дітей ( $p < 0,05$ ), дітей з пневмонією 1 та 3 підгруп ( $p < 0,01$ ), що представлено на рис. 7.

При дослідженні середніх значень потужності сигналу в 2 октаві А.С. у дітей з ПП було виявлено, що середні значення потужності сигналу варіюють від 200.000 у.о. до 1.600.000 у.о. Було виділено 2 основні під групи:



**Рис. 7.** Вірогідний інтервал при множинних порівняннях (критерій Данна) для дослідження середніх значень потужності сигналу в 1 октаві, для 4 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, 3 підгрупа та здорові діти)

- 1 підгрупа від 200.000 у.о. до 800.000 у.о.
- 2 підгрупа, від 1.000.000 у.о. до 1.600.000 у.о.

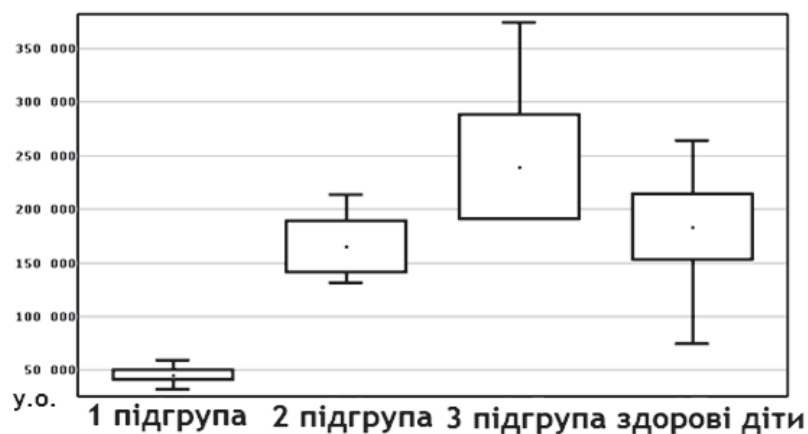
У здорових дітей в 2 октаві А.С. середні значення потужності сигналу коливаються від 500.000 у.о. до 1.500.000 у.о. При проведенні множинних порівнянь, методом Шеффе була виявлена статистична відмінність по середнім значенням потужності сигналу у дітей з пневмонією 1 і 2 підгрупи ( $p < 0,01$ ), у дітей з пневмонією 1 підгрупи та здорових дітей ( $p < 0,01$ ), дітей з пневмонією 2 підгрупи і здорових дітей ( $p < 0,01$ ), що представлено на рис 8.

Аналіз частоти піків в 2 октаві А.С. при проведенні множинних порівнянь для 3 вибірок, а саме дітей з 1 та 2 підгруп і здорових дітей, (ранговий однофакторний аналіз Круска-

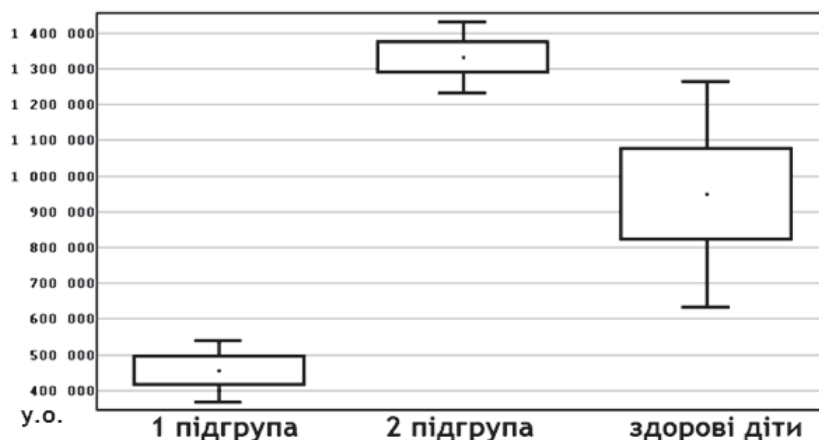
ла-Уолліса) показав, що відмінність не є статистично значимою,  $p = 0,274$ .

При аналізі амплітуди піків в 2 октаві А.С., а саме при проведенні множинних порівнянь (критерій Данна) були виявлені відмінності між амплітудами піків у дітей з пневмонією 1 і 2 підгрупи ( $p < 0,01$ ), дітей з пневмонією 1 підгрупи та здорових дітей ( $p < 0,01$ ), що представлено на рис. 9.

При дослідженні середніх значень потужності сигналу в 3 октаві А.С. у дітей з ПП було виявлено, що середні значення потужності сигналу варіюють від 0 до 300.000 у.о. У здорових дітей в 3 октаві середні значення потужності сигналу коливаються від 40.000 у.о. до 90.000 у.о. При порівнянні середні значення потуж-



**Рис. 8.** Вірогідний інтервал при множинних порівняннях (критерій Данна) для дослідження амплітуди піків в 1 октаві, для 4 вибірок (1 підгрупи, 2 підгрупи, 3 підгрупи та здорових дітей)



**Рис. 9.** Вірогідний інтервал при множинних порівняннях для дослідження середніх значень потужності сигналу в 2 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)

ності сигналу у дітей з ПП зі здоровими середні відрізняються на рівні значимості  $p < 0,001$ .

Для більш точного аналізу середні значення потужності сигналу у дітей з ПП було виділено 2 основні підгрупи:

- 1 підгрупа від 0 до 100000 у.о.
- 2 підгрупа від 100000 у.о. до 300000 у.о.

Була виявлена статистична відмінність (метод множинних порівнянь Шеффе) між 1 підгрупою та 2 підгрупою ( $p < 0,01$ ) та між 2 підгрупою та здоровими дітьми ( $p < 0,01$ ), що представлено на рис. 10.

При аналізі частоти піків в 3 октаві, а саме при проведенні множинних порівнянь для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти), за допомогою рангового однофакторного аналізу Крускала-Уолліса, було виявле-

но, що відмінність не є статистично значимою,  $p=0,344$ .

За допомогою пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» були дослідженні амплітуди піків в 3 октаві А.С. При проведенні множинних порівнянь (критерій Данна) були виявлені відмінності між амплітудами піків у дітей з пневмонією 1 і 2 підгрупи ( $p < 0,01$ ) та дітей з пневмонією 2 підгрупи та здорових дітей ( $p < 0,05$ ), що представлено на рис. 11.

При дослідженні середніх значень потужності сигналу в 4 октаві А.С. у дітей з ПП було виявлено, що середні значення потужності сигналу варіюють від 0 до 6.000 у.о. У здорових дітей в 4 октаві середні значення потужності сигналу коливаються від 0 до 700 у.о. При порівнянні середні значення потужності сигналу

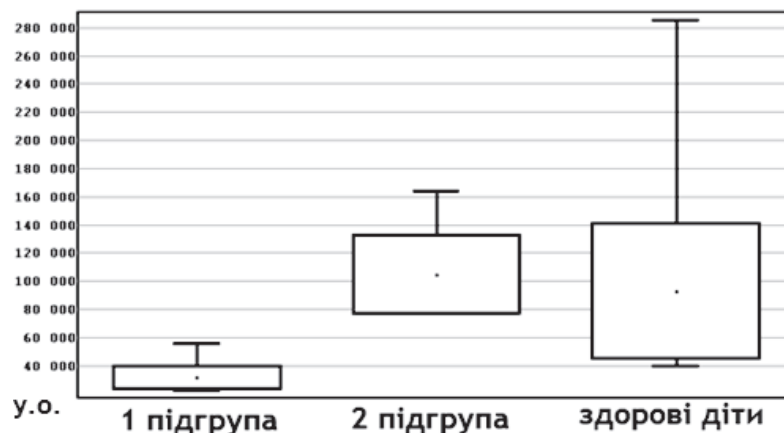


Рис. 10. Вірогідний інтервал при множинних порівняннях (критерій Данна) для дослідження амплітуди піків в 2 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)

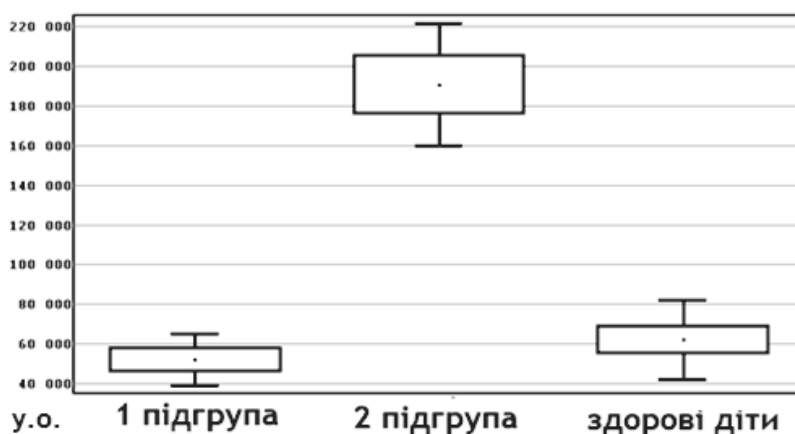


Рис. 11. Вірогідний інтервал при множинних порівняннях для дослідження середніх значень потужності сигналу в 3 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)

в дітей з ПП зі здоровими центральні тенденції відрізняються на рівні значимості  $p < 0,001$ .

Для більш точного аналізу було виділено 2 основні підгрупи:

- 1 підгрупа від 0 до 700 у.о.
- 2 підгрупа від 700 у.о. до 6000 у.о.

Застосувавши метод множинних порівнянь Шеффе, була виявлена відмінність між дітьми з пневмонією 1 підгрупи та 2 підгрупи ( $p = 0,02$ ) та між 2 підгрупою та здоровими дітьми ( $p < 0,01$ ), що представлено на рис. 12.

При аналізі частоти піків в 4 октаві А.С., а саме при проведенні множинних порівнянь для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти) було виявлено, що відмінність не є статистично значимою,  $p = 0,577$ .

Аналіз амплітуди піків в 4 октаві А.С. при

проведенні множинних порівнянь (метод Шеффе) показав відмінності між амплітудами піків у дітей з пневмонією 2 підгрупи та здорових дітей ( $p = 0,01$ ), що представлено на рис. 13.

При дослідженні середніх значень потужності сигналу в 5 октаві А.С. у дітей з ПП було виявлено, що середні значення потужності сигналу варіюються від 200 у.о. до 1.500 у.о. У здорових дітей в 5 октаві середні значення потужності сигналу коливаються від 0 до 100 у.о. При порівнянні середні значення потужності сигналу у дітей з ПП зі здоровими середні відрізняються на рівні значимості  $p < 0,001$ .

Для більш точного аналізу було виділено 2 основні групи:

- 1 підгрупа від 200 у.о. до 650 у.о.
- 2 підгрупа від 650 у.о. до 1500 у.о.

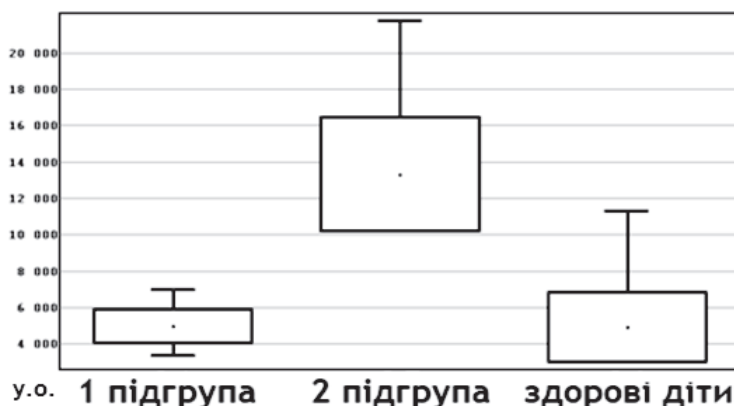


Рис. 12. Вірогідний інтервал при множинних порівняннях (критерій Данна) для дослідження амплітуди піків в 3 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)

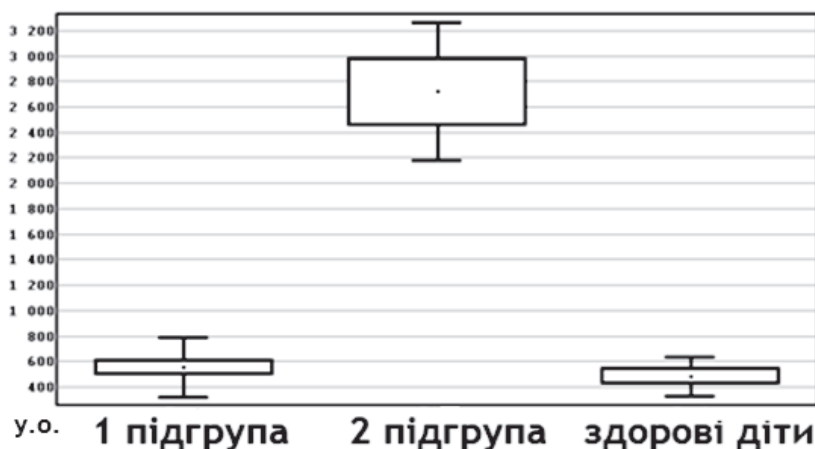


Рис. 13. Вірогідний інтервал при множинних порівняннях для дослідження середніх значень потужності сигналу в 4 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)

При проведенні множинних порівнянь методом Шеффе були виявлені відмінності між 1 підгрупою та 2 підгрупою ( $p < 0,01$ ), між 1 підгрупою та здоровими дітьми ( $p < 0,01$ ) та між 1 і 2 підгрупою ( $p < 0,01$ ), що представлено на рис. 14.

Аналіз частоти піків в 5 октаві А.С. при порівнянні центральних тенденцій для двох незалежних вибірок (дітей з ПП та здорових дітей) за допомогою W-критерієм Вілкоксона показав що центральні тенденції відрізняються на рівні значимості  $p=0,015$ .

При проведенні більш детальних множин-

них порівнянь для 3 вибірок були виявлені відмінності між 1 підгрупою та здоровими дітьми ( $p < 0,05$ ), що представлено, на рис. 15.

За допомогою пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» були досліджені амплітуди піків в 5 октаві А.С. При проведенні множинних порівнянь (критерій Данна) були виявлені відмінності між амплітудами піків у дітей з пневмонією 1 та 2 підгрупи ( $p < 0,01$ ), дітей з 1 підгрупи та здорових дітей ( $p < 0,05$ ) та між дітьми з 2 підгрупи і здоровими дітьми ( $p < 0,01$ ), що представлено на рис. 16.

При дослідженні середніх значень потуж-

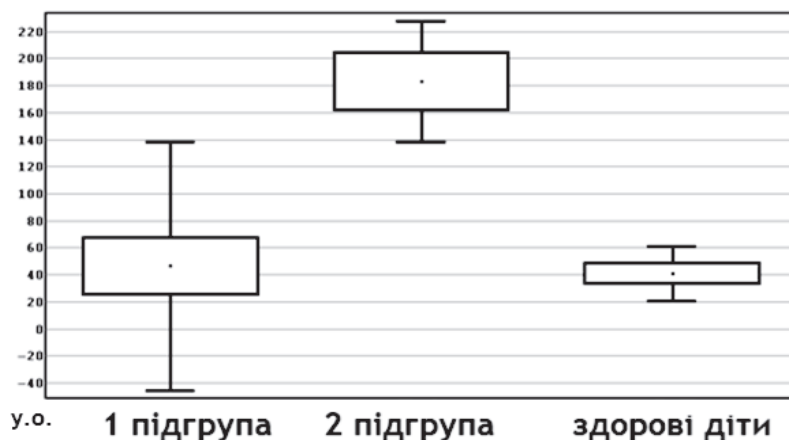


Рис. 14. Вірогідний інтервал при множинних порівняннях для дослідження амплітуди піків в 4 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)

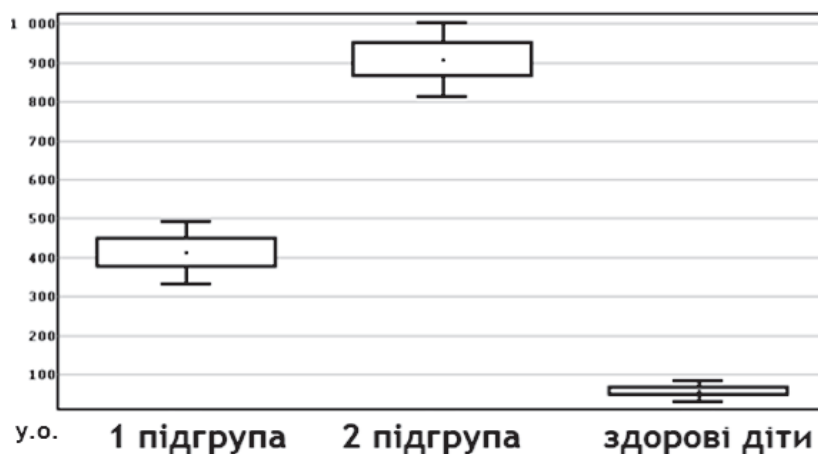


Рис. 15. Вірогідний інтервал при множинних порівняннях для дослідження середніх значень потужності сигналу в 4 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)

ності сигналу в 6 октаві А.С. у дітей з ПП було виявлено, що середні значення потужності сигналу варіюють від 0,5 у.о. до 10 у.о. У здорових дітей в 6 октаві середні значення потужності сигналу коливаються від 0 до 0,5 у.о. При порівнянні середні значення потужності сигналу в дітей з ПП зі здоровими центральні тенденції відрізняються на рівні значимості  $p < 0,001$ .

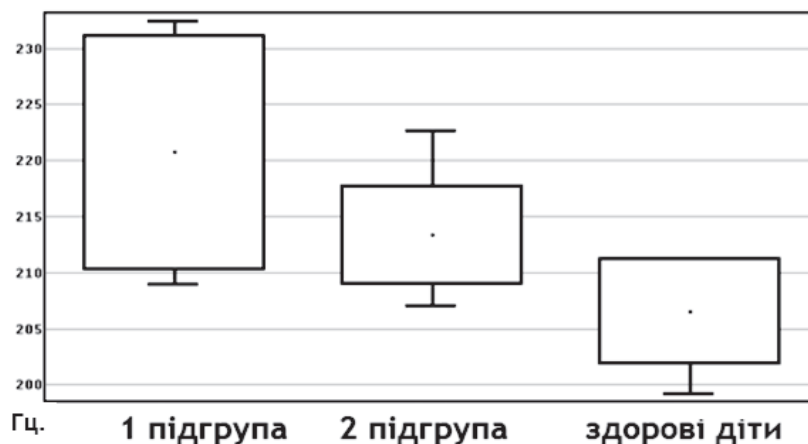
Для більш точного аналізу було виділено 2 основні підгрупи:

- 1 підгрупа від 0,5 у.о. до 3 у.о.
- 2 підгрупа від 3 у.о. до 10 у.о.

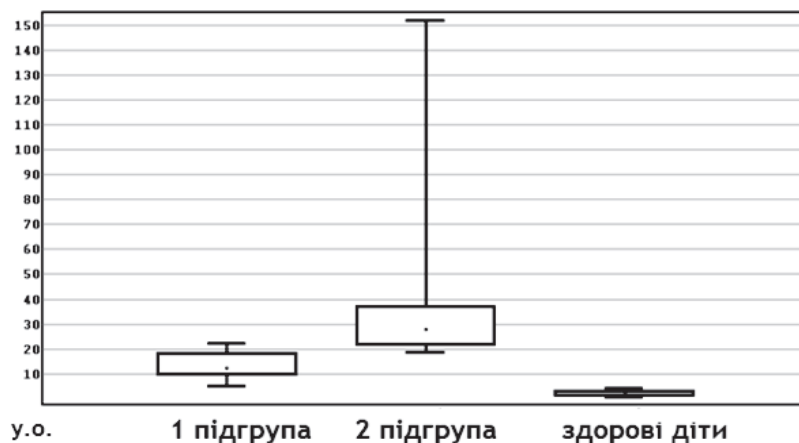
При проведенні множинних порівнянь методом Шеффе були виявлені відмінності між 1 підгрупою та 2 підгрупою ( $p < 0,01$ ) та між 2 підгрупою групою і здоровими ( $p < 0,01$ ), що представлено на рис. 17.

При аналізі частоти піків в 6 октаві А.С., а саме при проведенні множинних порівнянь для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти) було виявлено, що відмінність не є статистично значимою,  $p=0,055$ .

Аналіз амплітуди піків в 6 октаві А.С. при проведенні множинних порівнянь (критерій Данна) показав відмінності між амплітуда-



**Рис. 16.** Вірогідний інтервал при множинних порівняннях для дослідження частоти піків в 5 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)



**Рис. 17.** Вірогідний інтервал при множинних порівняннях для дослідження амплітуди піків в 5 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)

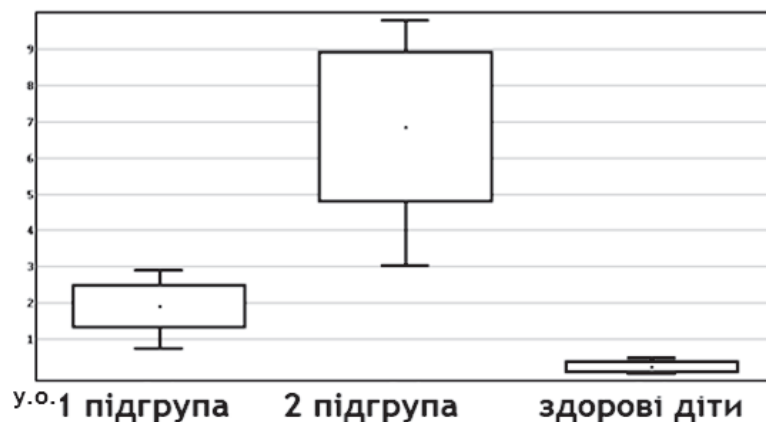
ми піків у дітей з пневмонією 1 та 2 підгрупи ( $p < 0,01$ ) та 2 підгрупи і здорових дітей ( $p < 0,01$ ), що представлено на рис. 18 і 19.

При дослідженні середніх значень потужності сигналу в 7 октаві А.С. у дітей з ПП та здорових дітей статистично значимих відмінностей не було знайдено ( $p = 0,287$ ). При дослідженні частоти піків в 7 октаві було виявлено, що відмінність не є статистично значимою,  $p = 0,501$ . Достовірних відмінностей між амплітудами піків в 7 октаві знайдено не було ( $p = 0,432$ ).

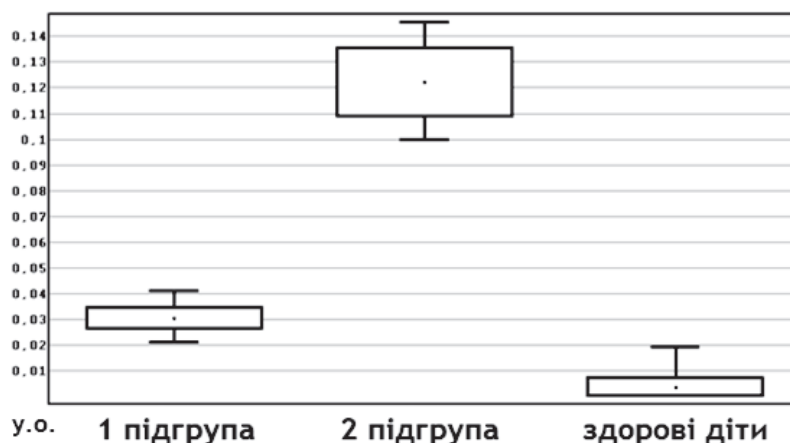
При дослідженні середніх значень потужності сигналу, частоти та амплітуди піків в 8 та 9 октаві А.С. у дітей з ПП та здорових дітей

статистично значимих відмінностей не було знайдено. Також в октавах 10, 11, 12 А.С. відмінностей між середніми значеннями потужності сигналу, частоти і амплітуди піків у здорових дітей та дітей з ПП знайдено не було.

Отже виявлено, що для визначення запального процесу в легенях при пневмонії найбільш перспективними є дослідження дихальних шумів в діапазонах 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 октав А.С. Також були виявлені достовірні відмінності по середній потужності сигналу між дітьми з ПП та здоровими дітьми в 0,1,2,3,4,5,6 октавах А.С. За допомогою пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» були виявлені достовірні відмінності по частоті піків між



**Рис. 18.** Вірогідний інтервал при множинних порівняннях для дослідження середніх значень потужності сигналу в 6 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)



**Рис. 19.** Вірогідний інтервал при множинних порівняннях для дослідження амплітуди піків в 6 октаві, для 3 вибірок (1 підгрупа, 2 підгрупа, здорові діти)

дітьми з ПП та здоровими дітьми в 0 та 5 октавах А.С. та достовірні відмінності по амплітуді піків між дітьми з ПП та здоровими дітьми в 0,1,2,3,4,5,6 октавах А.С. Тому застосування пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» та застосування розробленого спеціалізованого програмного забезпечення мовою Python у середовищі Google Codelabs разом дають можливість почути специфічні акустичні сигнали по всій поверхні легень у дітей з позалікарняною пневмонією.

## ВИСНОВКИ

1. Розроблений та запатентований пристрій акустичного моніторингу «Trembita-Corona» для діагностики акустичних змін в легенях. Для визначення пневмонії найбільш перспективними є дослідження дихальних шумів в діапазонах 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 октав А.С.
2. При використанні «Trembita-Corona» виявлені достовірні відмінності А.С. у хворих на пневмонію у порівнянні із здоровими дітьми. Так, визначені відмінності по середній потужності сигналу в 0,1,2,3,4,5,6 октавах А.С.; по частоті піків в 0 та 5 октавах; по амплітуді піків в 0,1,2,3,4,5,6 октавах А.С., що необхідно використовувати для діагностики пневмонії.

### Перспективи для подальших досліджень.

1. Пристрій акустичного моніторингу «Trembita-Corona» є новим і перспективним акустичним методом для визначення діагностики запальних змін в легенях.
2. Є необхідність за допомогою пристрою акустичного моніторингу «Trembita-Corona» дослідити середню потужність сигналу, частоти піків і амплітуди піків у третьоктавах для покращення діагностики пневмонії.

**Конфлікт інтересів.** Автори даного рукопису стверджують, що конфлікт інтересів під час виконання дослідження та написання рукопису відсутній.

**Джерела фінансування.** Виконання даного дослідження та написання рукопису було виконано без зовнішнього фінансування.

## REFERENCES

1. le Roux DM, Zar HJ. Community-acquired pneumonia in children - a changing spectrum of disease. *Pediatr Radiol.* 2017;47(11):1392-1398. DOI:10.1007/s00247-017-3827-8.
2. Yun KW, Wallihan R, Juergensen A, Mejias A, Ramilo O. Community-Acquired Pneumonia in Children. Myths and Facts. *Am J Perinatol.* 2019;36(2):54-S57. DOI:10.1055/s-0039-1691801.
3. de Benedictis FM, Kerem E, Chang AB, Colin AA, Zar HJ, Bush A. Complicated pneumonia in children. *Lancet.* 2020;396(10253):786-798. DOI:10.1016/S0140-6736(20)31550-6
4. Nascimento-Carvalho CM. Community-acquired pneumonia among children: the latest evidence for an updated management. *J Pediatr.* 2020;96 (1):29-38. DOI:10.1016/j.jpeds.2019.08.003.
5. McCracken GH Jr. Diagnosis and management of pneumonia in children. *Pediatr Infect Dis J.* 2000;19(9):924-928. DOI: 10.1097/00006454-200009000-00036.
6. Najgrodzka P, Buda N, Zamojska A, Marciniwicz E, Lewandowicz-Uszyńska A. Lung Ultrasonography in the Diagnosis of Pneumonia in Children-A Metaanalysis and a Review of Pediatric Lung Imaging. *Ultrasound Q.* 2019;35(2):157-163. DOI:10.1097/RUQ.0000000000000411.
7. Patel NA. Pediatric COVID-19: Systematic review of the literature. *Am J Otolaryngol.* 2020;41(5):102573. DOI:10.1016/j.amjoto.2020.102573.
8. Наказ МОЗ України № 1380 Стандарти медичної допомоги «Позалікарняні пневмонії у дітей» від 02.08.2022
9. Клінічна настанова, заснована на доказах «Пневмонії у дітей» 02.08.2022
10. Isaienko V., Kharchenko V., Astanin V., Shchegol G., Olefir V., Olefir O., Olefir A., Khomych O., Khomych V. System for acoustic diagnostics and symptomatic assistance to COVID-19 patients for use in extremal conditions «TREMBITA-CORONA NAU». *Advances in Aerospace Technology* 2020;1(82):58-63. DOI: 10.18372/2306-1472.82.14612.

11. Марушко Ю.В., Хомич О.В., Гищак Т.В., Таринська О.Л., Щегель Г.О. Сучасний стан проблеми застосування променевих та акустичних методів діагностики пневмонії, у тому числі викликаной вірусом SARS-COV-2, у дітей. *Medical science of Ukraine*. 2021;17(2):114-124. DOI: <https://doi.org/10.32345/2664-4738.2.2021.16>.
12. Ozer MB, Acikgoz S, Royston TJ, Mansy HA, Sandler RH. Boundary element model for simulating sound propagation and source localization within the lungs. *J Acoust Soc Am*. 2007;122(1):657-661. doi:10.1121/1.2715453.
13. Павленко П.М., Марушко Ю.В., Олефір О.І., Хомич О.В., Щегель Г.О., Хомич В.М., Олефір А.О. Патент на корисну модель №148836 Пристрій акустичного спостереження із осьовою діаграмою направленості. Зареєстровано в Державному реєстрі України корисних моделей 22.09.2021.
14. Nikolopoulou GB, Maltezou HC. COVID-19 in Children: Where do we Stand? *Arch Med Res*. 2022;53(1):1-8. DOI:10.1016/j.arcmed.2021.07.002
15. Cui X, Zhao Z, Zhang T, et al. A systematic review and meta-analysis of children with coronavirus disease 2019 (COVID-19). *J Med Virol*. 2021;93(2):1057-1069. DOI:10.1002/jmv.26398
16. Umakanthan S, Sahu P, Ranade AV, et al. Origin, transmission, diagnosis and management of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *Postgrad Med J*. 2020;96(1142):753-758. DOI:10.1136/postgradmedj-2020-138234
17. Ladhani SN, Amin-Chowdhury Z, Davies HG, et al. COVID-19 in children: analysis of the first pandemic peak in England. *Arch Dis Child*. 2020;105(12):1180-1185. DOI:10.1136/archdischild-2020-320042
18. Murillo-Zamora E, Aguilar-Sollano F, Delgado-Enciso I, Hernandez-Suarez CM. Predictors of laboratory-positive COVID-19 in children and teenagers. *Public Health*. 2020;189:153-157. DOI:10.1016/j.puhe.2020.10.012
19. Schelde AB, Nielsen KF, Nygaard U, von Linstow ML, Espenhain L, Koch A. *Ugeskr Laeger*. 2022;184(9):V11210858.
20. Zhang P, Wei M, Jing P, Li Z, Li J, Zhu F. COVID-19 in children: epidemic issues and candidate vaccines. *Chin Med J (Engl)*. 2022;135(11):1314-1324. DOI:10.1097/CM9.00000000000002169
21. Rajapakse N, Dixit D. Human and novel coronavirus infections in children: a review. *Paediatr Int Child Health*. 2021;41(1):36-55. DOI:10.1080/20469047.2020.1781356

Article history:

Received: 07.02.2023

Revision requested: 10.02.2023

Revision received: 15.03.2023

Accepted: 25.03.2023

Published: 30.03.2023

CHARACTERIZATION OF THE AVERAGE POWER, FREQUENCY AND AMPLITUDE OF ACOUSTIC SIGNAL PEAKS OVER THE LUNGS IN CHILDREN WITH COMMUNITY-ACQUIRED PNEUMONIA USING THE NEW DEVICE «TREMBITA-CORONA»

*Yu. Marushko, O. Khomych*

*Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine*

khomychov@gmail.com

**Background.** Community-acquired pneumonia (CAP) is an urgent problem today and a significant cause of morbidity and mortality in children. Diagnosis of pneumonia is complex and requires a comprehensive study. At present, respiratory acoustics is a promising method of diagnosis.

**Aim:** to investigate the features of average power values, frequencies and amplitudes of acoustic signal peaks over the lungs in children with community-acquired pneumonia using a new acoustic diagnostic device «Trembita-Corona».

**Materials and methods.** 120 children aged from 1 month to 18 years who were treated in pediatric departments were studied. The children were divided into two groups: Group I - 60 patients with CAP, Group II - 60 healthy children. The children from the 1st group underwent complex examinations, which required CAP. All children were also examined using the «Trembita-Corona» acoustic monitoring device for the diagnosis of breathing sounds and localization of lung damage zones.

The study was conducted in accordance with the international principles of conducting clinical studies GCP, GLP, the protocol was approved at the meeting of the Commission on Bioethical Expertise at the National Medical University named after O.O. Bogomolets (protocol No. 138 of November 10, 2020). Informed consent of parents/guardians was obtained for conducting the study, which was approved at the same meeting of the Commission on Bioethical Expertise at Bogomolets National Medical University (protocol № 138 of November 10, 2020).

Mathematical processing was carried out on specialized software developed in the Python language in the Google Codelabs environment. Further statistical processing of the obtained results was carried out in specialized programs Medstart, EZR (R-Statistics) and «Matlab».

**Results.** In children, the clinical picture of CAP consisted of pulmonary (respiratory) complaints, symptoms of intoxication, RE, and local physical changes. All patients were examined for respiratory lung sounds in the frequency range from 0.1 Hz to 30 kHz using the «Trembita-Corona» device and the corresponding original software. The most promising are the studies of breathing noises in the ranges of 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 octaves. Also, significant differences in average signal power between children with CAP and healthy children in 0,1,2,3,4,5,6 octaves were found. Using the «Trembita-Corona» acoustic monitoring device, reliable differences in peak frequency between children with CAP and healthy children in 0 and 5 octaves and reliable differences in peak amplitude between children with CAP and healthy children in 0, 1, 2, 3 were found. ,4,5,6 octaves. Therefore, the use of the «Trembita-Corona» acoustic monitoring device and the use of the developed specialized software in the Python language in the Google Codelabs environment together make it possible to hear specific acoustic signals over the entire surface of the lungs in children with CAP.

**Conclusion.** The «Trembita-Corona» acoustic monitoring device is a new and promising acoustic method for determining the location of the pathological process in the lungs. Significant differences were found: in the average signal strength between children with CAP and healthy children in 0,1,2,3,4,5,6 octaves; on the frequency of peaks between children with CAP and healthy children in 0 and 5 octaves; by the amplitude of peaks between children with CAP and healthy children in 0,1,2,3,4,5,6 octaves.

**Key words:** «Trembita-Corona» Acoustic Monitoring Device; Community-Acquired Pneumonia; Diagnosis; Children.